Vol.12, No.1, spring2023, pp.229-246 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/GEOEH.2022.74364.1147 Open access

Performace Evaluation of PERSIAN PDIR-Now and PERSIANN CCS Products for Precipitation leading to the Most Severe Floods in Iran between 2017 and 2019

Seyed Hossein Sanaei Nejad[a*], Khosro Salari[b]

[a] Professor in Agrometeorology, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

[b] PhD Candidate in Agrometeorology, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 25 December 2021 Revised: 19 February 2022 Accepted: 24 February 2022

Abstract

Precipitation is one of the main components of the hydrological cycle. Rainfall distribution plays a significant role in the Earth's energy balance and human access to water resources, but rainfall is not always promising for humans. Floods cause a lot of human and financial losses to people and infrastructure all over the world annually. Planning for the damage reduction must be done with some measurements. It is necessary to record the amount of rainfall in high resolution, but measuring precipitation in high spatial and temporal resolution is a costly process. Scientists have developed many models to estimate precipitation values. It is necessary to evaluate the output data of these models and their performance before using them. In this study, the performance of two precipitation estimation products, PERSIANN-CCS and PDIR-Now, was evaluated against precipitation recorded in all synoptic stations of Iran for the devastating flood events from 2017 to 2019. For comparing precipitation estimations with the ground data, 9 indices (PC, BIAS, FAR, POD, HSS, R^2, ME, MAE & RMSE) were used. The results showed high variability of indicators in different events. On average, PERSIANN-CCS and PDIR-Now products have a coefficient of determination of 0.16 and 0.19 and RMSE of 9.38 and 12.78, respectively. The values are not desirable, even though the average of PC is high. Moreover, the results showed that the PERSIANN-CCS and PDIR-Now products do not perform well due to the statistical indexes for all stations, and further researches for better heavy rainfall estimation are needed.

Keywords: PERSIANN-CCS, PDIR-Now, Precipitation, Remote Sensing, Flood

*. Corresponding author: Seyed Hossein Sanaei Nejad E-mail: sanaein@gmail.com Tel: 09153136888

How to cite this Article: Sanaei-Nejad, S. H., & Salari, K. (2023). Performance evaluation of PDIR-Now and PERSIANN CCS products for precipitation leading to the most severe floods in Iran between 2017 and 2019. *Journal of Geography and Environmental Hazards, 12*(1), 229-246.
DOI: 10.22067/GEOEH.2022.74364.1147

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74364.1147

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارۀ چهل و پنجم، بهار ۱٤۰۲، صص ۲٤٦-۲۲۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی عملکرد محصولات PDIR-Now و PERSIANN CCS برای بارش‌های منجر به خسارت‌بارترین سیلاب‌های کشور ایران در سال‌های ۱۳۹٦ الی ۱۳۹۸

سید حسین ثنائی نژاد[۱]- استاد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی علوم و آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
خسرو سالاری- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۱۰/٤ تاریخ بازنگری:۱٤۰۰/۱۱/۳۰ تاریخ تصویب:۱٤۰۰/۱۲/۵

چکیده

بارش یکی از اصلی‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژی است. علاوه بر این، توزیع بارش نقش بسیار مهمی را در توازن انرژی کره زمین و دسترسی بشر به منابع آبی ایفا می‌کند؛ اما بارندگی همواره برای بشر ثمربخش نیست. هرساله وقوع سیل در کشور ایران خسارات جانی و مالی بسیاری را به مردم و زیرساخت‌ها تحمیل می‌نماید. برای به حداقل رساندن این خسارت‌ها لازم است مقدار بارش‌های وقوع یافته اندازه‌گیری شود، تا بتوان برای کاهش خسارت‌ها برنامه‌ریزی کرد. ازآنجایی‌که اندازه‌گیری بارش با دقت مکانی و زمانی بالا هزینه بسیاری دارد، مدل‌های بسیاری برای تخمین مقادیر بارش توسعه یافته‌اند؛ اما برای استفاده از داده‌های خروجی این مدل‌ها لازم است ابتدا عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. در این پژوهش به ارزیابی عملکرد دو محصول تخمین بارش PERSIANN-CCS و PDIR-Now با استفاده از بارش‌های تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور برای خسارت‌بارترین سیلاب‌های ایران در سال‌های ۱۳۹٦ الی ۱۳۹۸ اقدام گردید. برای ارزیابی عملکرد از شاخص‌های آماری PC، BIAS، FAR، POD، HSS،

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۱۳٦۸۸۸ Email: sanaein@gmail.com

نحوه ارجاع به این مقاله:

ثنایی نژاد، سید حسین؛ سالاری، خسرو؛ ۱٤۰۲. ارزیابی عملکرد محصولات PDIR-Now وPERSIANN CCS برای بارش‌های منجر به خسارت‌بارترین سیلاب‌های کشور ایران در سال‌های ۱۳۹٦ الی ۱۳۹۸. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۱). صص۲٤٦-۲۲۹

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74364.1147

R^2، ME، MAE و RMSE استفاده شد. نتایج به دست آمده بیان‌گر تغییرپذیری بالای شاخص‌ها در وقایع مختلف است. به‌طور میانگین ملاحظه شد که محصولات PERSIANN-CCS و PDIR-Now اگرچه دارای میانگین PC بالا هستند اما به ترتیب دارای ضریب تعیین ۰/۱۶ و ۰/۱۹ و RMSE برابر با ۹/۳۸ و ۱۲/۷۸ بوده که مقادیر بسیار مطلوبی نیستند. با توجه به شاخص‌های آماری خطا در تاریخ‌های موردبررسی ملاحظه می‌شود که این دو محصول برای تخمین مقادیر بارش تمامی ایستگاه‌ها عملکرد مناسبی نداشته و برای تخمین بهتر بارش‌های منجر به سیلاب‌های سنگین، بررسی‌های بیشتر پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: PERSIANN-CCS، PDIR-Now، بارش، سنجش‌ازدور، سیل.

۱- مقدمه

بارش بخش اصلی چرخه آب‌شناختی است که وظیفه توزیع آب در سرتاسر کره زمین را بر عهده دارد؛ اما بارش همواره برای بشر مفید نبوده و گاه از طریق ایجاد سیل، منجر به بروز خسارات جانی و مالی فراوانی در کشورهای مختلف شده است. بر اساس تعریف آزمایشگاه ملی طوفان‌های شدید (۲۰۲۰) به جاری شدن آب بر روی سطحی از زمین که معمولاً خشک است، سیل گفته می‌شود.

به‌منظور آمادگی در برابر سیلاب، مدل‌های هشدار زودهنگام سیل در طول سال‌ها توسعه یافته‌اند (ون هوآنگ و همکاران[1]، ۲۰۱۹). یکی از داده‌های مورد نیاز این مدل‌ها، مقادیر بارش در حوضه‌های آبریز است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۵؛ قهرمان و همکاران، ۱۳۹۷). به دست آوردن مقادیر بارش با استفاده از داده‌های زمینی، امری بسیار زمان‌بر و پرهزینه است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۵؛ بَرِت و بئومونت[2]، ۱۹۹٤)، اما با ورود ماهواره‌های هواشناسی، امکان بررسی بهتر ابرها و درنتیجه تخمین مقادیر بارش در بسیاری از مناطق فراهم شد (کید[3]، ۲۰۰۱). در سال‌های اخیر، محصولات تخمین بارش ماهواره‌ای فراوانی در دنیا عرضه گشته‌اند. ازآنجایی‌که پیش‌بینی‌های سازمان هواشناسی برای بارش در ایران کاربرد چندانی (از نظر کمی و کیفی) برای استفاده در مدل‌های هشدار زودهنگام ندارند (خبرگزاری جمهوری اسلامی، ۱۳۹۸)، لذا محصولات ماهواره‌ای به‌عنوان گزینه مناسب احتمالی برای استفاده در این مدل‌ها مطرح می‌شوند. قبل از استفاده از محصولات بارش ماهواره‌ای، این محصولات باید توسط داده‌های ایستگاهی مورد ارزیابی قرار گیرند، تا میزان عملکرد آن‌ها مشخص شده و محصولی که بهترین عملکرد را در زمینه تخمین بارش دارد، مورداستفاده قرار گیرد.

1 Van Hoang et al.,
2 Barrett & Beaumont
3 Kidd

در این رابطه پژوهش‌های متعددی انجام شــده اســت. ســبحانی و همکاران (۱۳۹۵) برای تحلیل مقدار بارش پیش‌بینی شـده از محصـول بارش پروژه TRMM اسـتفاده کردند، اما نتایج مقایسـه پیش‌بینی‌های TRMM با داده‌های زمینی بیانگر عملکرد ضـعیف این محصـولات در تخمین بارش اسـتان چهارمحال‌وبختیاری بود. چاوشیان و کتیرایی (۱۳۹۸) به بررسی و مقایسه متوسط سالانه بارش‌های اندازه‌گیری شده کشور با هفت مجموعه شامل مجموعه بارش زمینی و ماهواره‌ای اقدام کردند. ایشان سه مجموعه GPCP، TRMM و PERSIANN-CDR را به‌عنوان مجموعه‌های دارای بیشــترین شــباهت با داده‌های باران‌ســنجی ســالانه معرفی کردند. اکبری و کاظم‌زاده (۱۳۹۸) به ارزیابی بارش ماهانه تخمینی ماهواره TRMM محصــول 3B43v7 در ایران پرداختند. نتیجه نهایی این پژوهش دربردارنده این موضـوع بود که تخمین‌های ماهواره TRMM در اکثر مناطق خشـک و نیمه‌خشـک دارای بیش برآورد و پرباران دارای کم‌برآورد اســت. رحمتی و مســاح (۱۳۹۸) در مطالعه موردی بـه ارزیـابی مجموعـه داده‌هـای PERSIANN، PERSIANN-CDR، APHRODITE، TRMM-3B42RT، CHIRPS V2 و ERA-INTERIM در بـازه زمـانی ۲۰۰۳ الی ۲۰۱۳ پرداختند. نتایج این پژوهش بیان‌گر عملکرد بهتر داده‌های APHRODITE و ERRA-INTERIM در مقایســه با ســایر مجموعه‌ها اســت، و داده‌های APHRODITE را به‌عنوان جایگزینی برای مناطق فاقد ایســتگاه مشــاهداتی پیشــنهاد دادند. گرجی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) به مقایســه دو مجموعه بارشــی PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR با داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی در بالادست سد مارون واقع در کشور ایران پرداختند. بررسی‌های ایشان نشان داد که مقادیر بارش‌های سالانه تخمینی، دارای کم‌برآورد بوده، اما در محصول PERSIANN-CCS مقادیر تخمین زده شـده، به مقادیر مشـاهده شـده نزدیک‌تر اسـت. در مورد بارش‌های روزانه و ماهانه، عملکرد محصــول PERSIANN-CDR نســبت به محصــول دیگر بهتر بوده اســت. شــکری و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN و PERSIANN-CDR و بررســی تأثیر ناهمواری‌ها بر این الگوریتم‌ها در حوضــه آبریز حله پرداختند. ایشـان دریافتند، که دقت محصــولات مذکور در تخمین بارش روزانه قابل قبول نبوده، اما در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سـالانه از عملکرد بهتری برخوردار هسـتند. مسعود و همکاران[1] (۲۰۱۹) به ارزیابی محصـولات بارش زمان واقعی چند ماهواره‌ای برای کشـور پاکسـتان در دوره آماری ۲۰۱۷ الی ۲۰۱۹ برای مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سـالانه پرداختند. ایشـان بیان داشـتند که عملکرد محصـولات بارشـی در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه به‌مراتب بهتر و قابل‌قبول‌تر از مقیاس روزانه است و عملکرد تصاویر ماهواره‌ای IMERG را نسبت به ســایر محصــولات بهتر ارزیابی نمودند. الســوماتی و همکاران[2] (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به ارزیابی عملکرد دو مجموعه CMORPH و GPM IMERG V06 در امارات متحده عربی برای دوره آماری ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۸ و مقیاس‌های زمانی روزانه و سالانه پرداختند. ایشان بیان داشتند که هر دو محصول عملکرد بسیار خوبی را در شناسایی بارش داشته‌اند،

1 Masood et al.,
2 Alsumaiti et al.,

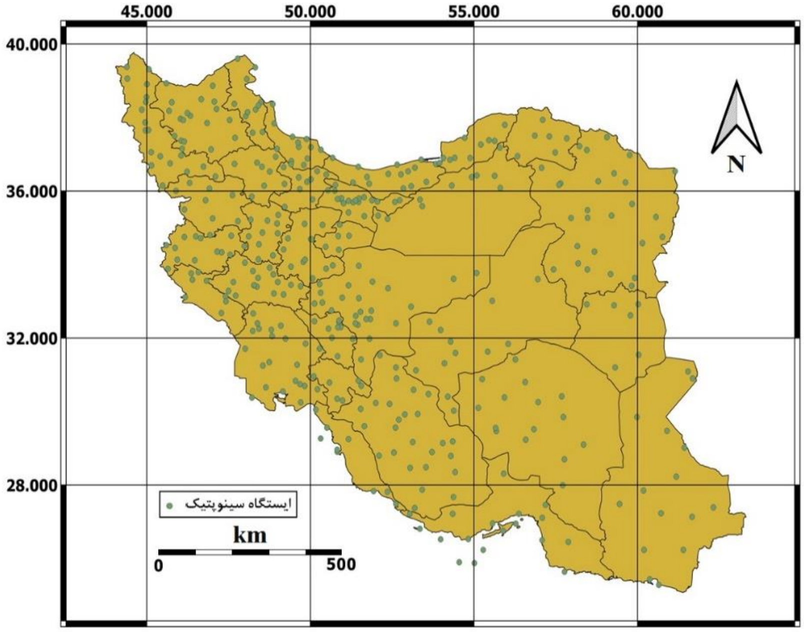
اما در گزارش‌های ماهواره‌ای مواردی وجود دارد که توسط ایستگاه‌های زمینی و به خصوص برای بارش‌های سبک به ثبت نرسیده است. صائمیان و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی جامع به بررسی همه‌جانبه محصولات بارشی اقدام کرده که در آن تمامی محصولات بارشی موجود برای کشور ایران در مقیاس روزانه ماهانه و سالانه مورد ارزیابی قرار گرفت. ایشـــان در این پژوهش محصـــول PDIR-Now را به‌عنوان تنها محصـــولی زمان واقعی موجود و با عملکرد مناسب برای ایران معرفی نمودند.

با دقت در پژوهش‌های انجام شـــده مذکور، روشـــن می‌شـــود که ارزیابی عملکرد محصـــولات ماهواره‌ای بارش به‌صـورت کلی و برای تمامی وقایع بارشـی در یک دوره آماری انجام شـده اسـت. علاوه بر این، سـعی شـده تا تعداد بیشـتری از محصـولات ماهواره‌ای در این مطالعات موردبررسـی قرار گیرند. این نحوه بررسـی اگرچه بسـیار جامع و مفید است، اما توانایی محصولات بارشی برای تخمین بارش‌های سنگین، که عموماً منجر به وقوع سیلاب می‌شوند، مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد. به همین منظور در این پژوهش با رویکردی متفاوت، به بررســی عملکرد دو محصــول تخمین بارش PERSIANN-CCS و PDIR-Now برای خسارت‌بارترین وقایع سیلاب کشور در سال‌های ۱۳۹٦ الی ۱۳۹۸ پرداخته شد. این دو محصول صرفاً مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای بوده و همین موضوع باعث می‌شود تا در زمان سـریع‌تری نسـبت به محصـولات ترکیبی با داده‌های ایسـتگاه‌های زمینی و یا محصـولات چندسـنجنده‌ای در دسـترس باشند. علاوه بر این تنوع اقلیمی گسترده در ایران باعث می‌شود که عملکرد مدل‌های تخمین بارش در نواحی اقلیمی مختلف، متفاوت باشـد (عزیزیان، امینی ۱۳۹۹، کتیرایی و همکاران ۲۰۱۳)؛ بنابراین به نظر می‌رسـد، محصـولاتی مانند PDIR-Now که تصـــحیحات اقلیمی را بر روی تخمین‌ها اعمال می‌کنند، عملکرد بهتری در تخمین بارش داشـــته باشند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش کشور ایران است. کشور ایران دارای مساحت ۱٦٤۸۱۹۵ کیلومتر مربع است و در محدوده طول جغرافیایی ٤٤ الی ٦۳/٥ و عرض جغرافیایی ۲٥ الی ٤۰ درجه گسترده شـده اسـت، که این کشـور را در محدوده جنب حاره قرار می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی کشور ایران و ایستگاه‌های سینوپتیک

در پژوهش انجام شده اخیر توسط رضیئی (۱۳۹٦) به روش کوپن – گایگر، کشور ایران به ۹ منطقه عمده اقلیمی تقسیم شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های گروه‌های اقلیمی کوپن گایگر موجود در ایران (رضیئی، ۱۳۹٦)

کد اقلیم	ویژگی
BWh	بیابان خشک و بسیار گرم
BWk	بیابان خشک و سرد
BSh	نیمه بیابانی (استپ) خشک و بسیار گرم
BSk	نیمه بیابانی (استپ) خشک و سرد
Csa	معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم
Csb	معتدل با تابستان‌های خشک و گرم
Cfa	معتدل پرباران (بدون فصل خشک) با تابستان‌های گرم
Dsa	اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم
Dsb	اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و گرم

۲-۲- روش انجام پژوهش

به‌منظور بررسی عملکرد محصولات PERSIANN-CCS و PDIR-Now برای وقایع سیلاب خسارت‌بار، مقدار بارش ثبت شده در روز وقوع سیل و روز ماقبل آن که در جدول ۲ ارائه شده است، برای تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور که دارای داده بارش بودند، از پایگاه داده سازمان هواشناسی کشور[1] تهیه گردید. ازآنجایی‌که مقادیر بارش ۲٤ ساعته ایستگاهی از ساعت ٦ صبح هر روز الی روز بعد اندازه‌گیری می‌شود و مقادیر بارش ماهواره‌ای برای ساعت ۲٤ بامداد هر روز الی روز بعد محاسبه می‌گردد، لذا برای برطرف کردن این عدم هماهنگی، مقادیر ساعتی تخمینی بارش از پایگاه داده محصولات[2] استخراج شده و بارندگی ۲٤ ساعته با استفاده از مجموع مقادیر ساعتی برای ساعت ٦ هر روز محاسبه گردید.

جدول ۲- فهرست سیل‌های انتخاب شده و روزهای موردبررسی

ترتیب واقعه	تاریخ وقوع سیل	محل وقوع	روزهای موردبررسی
واقعه اول	۲۵ فروردین ۱۳۹٦	شمال غرب ایران	۲۵ فروردین ٩٦
			۲٦ فروردین ٩٦
واقعه دوم	۲۰ مرداد ۱۳۹٦	شمال و شمال شرق ایران	۲۰ مرداد ٩٦
			۲۱ مرداد ٩٦
واقعه سوم	۲۸ اسفند ۱۳۹۷	شمال ایران	۲۷ اسفند ۹۷
			۲۸ اسفند ۹۷
واقعه چهارم	٦ فروردین ۱۳۹۸	جنوب غربی ایران	۵ فروردین ۹۸
			٦ فروردین ۹۸
			۷ فروردین ۹۸
			۸ فروردین ۹۸
واقعه پنجم	۱۱ فروردین ۱۳۹۸	جنوب و غرب ایران	۱۱ فروردین ۹۸
			۱۲ فروردین ۹۸
			۱۳ فروردین ۹۸
			۱٤ فروردین ۹۸
واقعه ششم	۸ خرداد ۱۳۹۸	شمال شرق ایران	۸ خرداد ۹۸
			۹ خرداد ۹۸
			۱۰ خرداد ۹۸
			۱۱ خرداد ۹۸

1 data.irimo.ir
2 https://chrsdata.eng.uci.edu

۲-۲-۱- معرفی محصول PERSIANN-CCS

سامانه طبقه‌بندی ابر یا به اختصار PERSIANN-CCS یک محصول ماهواره‌ای بارش زمان واقعی با تفکیک بالا (٤ کیلومتر در ٤ کیلومتر) است. این محصول توسط مرکز هیدرومتئورولوژی و سنجش‌ازدور در دانشگاه ارواین کالیفرنیا توسعه داده شده است. سامانه PERSIANN-CCS امکان طبقه‌بندی ویژگی‌های تکه‌های ابر بر اساس ارتفاع ابر، گستردگی سطحی و تغییرات بافت که توسط تصاویر ماهواره‌ای تخمین زده می‌شود را فراهم می‌کند. در قلب PERSIANN-CCS الگوریتم تقسیم‌بندی متغیر آستانه ابر قرار دارد. برخلاف رویکرد سنتی آستانه ثابت، روش آستانه متغیر امکان شناسایی و تفکیک تکه‌های منفرد ابرها را فراهم می‌سازد. تکه‌های انفرادی سپس می‌توانند بر اساس بافت، ویژگی‌های هندسی، تحولات دینامیکی و ارتفاع قله ابر طبقه‌بندی شوند. این طبقه‌بندی‌ها برای تخصیص مقادیر بارش به هر پیکسل که درون ابر قرار دارد، با توجه به منحنی مشخصه‌ای که رابطه بین شدت بارش و دمای درخشندگی را تبیین می‌کند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (مرکز هیدرومتئورولوژی و سنجش‌ازدور، ۲۰۱۹).

۲-۲-۲ معرفی محصول PDIR-Now

تخمین بارش با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور به‌وسیله‌ی شبکه عصبی مصنوعی نرخ بارش پویای مادون‌قرمز نزدیک به زمان واقعی یا به‌اختصار PDIR-Now، مانند **محصول** PERSIANN-CCS یک محصول ماهواره‌ای بارش زمان واقعی با تفکیک بالا (٤ کیلومتر در ٤ کیلومتر) است. این محصول نیز توسط مرکز هیدرومتئورولوژی و سنجش‌ازدور در دانشگاه ارواین کالیفرنیا توسعه داده شده است.

مزیت اصلی PDIR-Now در مقایسه با سایر مجموعه‌های داده بارشی زمان واقعی در وابستگی به تصاویر مادون‌قرمزی که به تعداد زیاد در واحد زمان نمونه‌برداری می‌شوند، است. در نتیجه، تأخیر PDIR-Now از زمان وقوع بارش بسیار اندک است (بین ۱۵ الی ٦۰ دقیقه). علاوه بر این PDIR-Now خطاها و عدم قطعیت‌هایی که به‌دلیل استفاده از تصاویر مادون‌قرمز امکان به‌وجود آمدن دارد را اصلاح می‌نماید. این کار با روش‌های مختلفی که مهم‌ترین آن جابه‌جایی پویای منحنی بارش – دما است، به‌وسیله اقلیم‌شناسی بارش انجام می‌شود. تأخیر کوتاه PDIR-Now، این مجموعه داده را برای کاربردهای هیدرولوژیکی نزدیک به زمان واقعی، نظیر پیش‌بینی سیلاب و توسعه نقشه‌های طغیان سیلاب مناسب می‌سازد (مرکز هیدرومتئورولوژی و سنجش‌ازدور، ۲۰۱۹).

۲-۲-۳- ارزیابی داده‌های تخمین ماهواره‌ای

بسیاری از پدیده‌های هواشناسی را می‌توان به‌صورت وقایع دودویی ساده، در نظر گرفت (هوگن و میسون[1]، ۲۰۱۲). از جمله این وقایع می‌توان به بارش، سیل، یخبندان و یا سایر موارد اشاره کرد. حال برای ارزیابی عملکرد

1 Hogan & Mason

یک سیستم پیش‌بینی می‌توان از جدول توافقی ۲×۲ و شاخص‌های استخراج شده از این جدول استفاده کرد (جوان، ۱۳۹۲). این جداول به شکل زیر هستند:

جدول ۳- جدول توافقی ۲×۲

نام مدل ارائه شده		بارش مشاهده شده در ایستگاه		
		بارانی	بدون باران	مجموع
بارش برآورد شده توسط مدل	بارانی	a	b	a + b
	بدون باران	c	d	c + d
	مجموع	a + c	b + c	a + b + c + d

در جدول ۳، a تعداد ایستگاه‌هایی است که هم توسط دیده‌بان و هم توسط مدل به‌صورت بارانی ثبت شده‌اند. b تعداد ایستگاه‌هایی هستند که بارش در آن‌ها فقط توسط مدل تخمین زده شده است. c وقایعی است که توسط دیده‌بان در هر ایستگاه ثبت شده، اما توسط مدل تخمین زده نشده است. d تعداد وقایعی است که هم مدل و هم ایستگاه بدون بارش گزارش کرده‌اند. این جدول‌ها برای هر روز بارشی پس از میانگین‌گیری ۲٤ ساعته از مقادیر بارش یک‌ساعته محصولات تهیه گردید، و بعد از آن، شاخص‌های ارزیابی از جدول‌های توافقی به دست آورده شدند. این شاخص‌ها به شرح زیر هستند:

رابطه (۱) شاخص نسبت صحیح (PC):

$$PC = \frac{a + b}{a + b + c + d}$$

رابطه (۲) شاخص اریبی (BIAS):

$$BIAS = \frac{a + b}{a + c}$$

رابطه (۳) نسبت هشدار اشتباه (FAR):

$$FAR = \frac{b}{a + b}$$

رابطه (٤) احتمال تشخیص (POD):

$$POD = \frac{a}{a + c}$$

رابطه (٥) نمره مهارت جدول ۲×۲ توافقی

$$HSS = \frac{2\,(ad - bc)}{(a + c)(c + d) + (a + b)(b + d)}$$

علاوه بر شاخص‌های ذکر شده، برای مقایسه مقدار بارش‌های تخمینی توسط دو **محصول** با بارش‌های ایستگاه‌های زمینی، از معیارهای آماری ضریب تعیین (R^2)، میانگین خطا (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر میانگین توان دوم خطا (RMSE) استفاده شده است. این معیارها به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$R^2=\frac{\sum(S_i-\overline{O_i})^2}{\sum(O_i-\overline{O_i})^2}$$ رابطه (٦)

$$ME=\frac{\sum_{i=1}^{N}(S_i-O_i)}{N}$$ رابطه (۷)

$$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{N}|S_i-O_i|}{N}$$ رابطه (۸)

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(S_i-O_i)^2}$$ رابطه (۹)

در این روابط S_i مقدار بارش تخمین زده شده توسط محصولات PDIR-Now یا CCS بوده، O_i مقدار بارندگی مشاهده‌ای و N تعداد کل مشاهدات است.

۳- نتایج و بحث

جدول‌های ٤ و ٥ به ترتیب نتایج به‌دست آمده از ارزیابی دو محصول PDIR-Now و PERSIANN-CCS را برای ٦ واقعه سیل خسارت‌بار اخیر کشور نمایش می‌دهند.

۳-۱- واقعه اول

عملکرد محصول PDIR-Now در هر دو روز این واقعه بسیار به یکدیگر نزدیک است. مقادیر شاخص PC برای روز اول و دوم به ترتیب برابر ۰/٤٥ و ۰/٤۰ است که مناسب نبوده و بیانگر این است که محصول در تخمین وقایع بارش و بدون بارش عملکرد مناسبی را نداشته است. شاخص BIAS و FAR نیز در این واقعه بسیار بالا و بیان‌گر تشخیص‌های اشتباه محصول است. در واقع مقادیر بالای BIAS بیان‌گر این موضوع است که این محصول وقایع بارشی را بیشتر از آن‌چه رخ داده پیش‌بینی کرده و به همین دلیل مقادیر FAR بسیار نزدیک به یک هستند. مقادیر بالای POD نیز حاکی از تشخیص صحیح محصول در تخمین وقایع بارش است، اما این شاخص به‌تنهایی نمی‌تواند نشان دهنده مناسب بودن عملکرد محصول باشد. شاخص HSS با مقدار نزدیک به صفر بیان‌گر این موضوع است که محصول PDIR-Now عملکرد خوبی را از خود در تخمین مقادیر بارش در این واقعه ارائه نکرده است.

مقدار کم R^2 نشان‌دهنده همبستگی بسیار ضعیف تخمین‌ها با مقادیر بارش اندازه‌گیری شده است. به‌علاوه مقادیر بالای ME، MAE و RMSE نیز تأیید کننده همین موضوع هستند. مقدار مثبت شاخص ME بیانگر بیش برآورد مقادیر بارش توسط محصول PDIR-Now است.

نتایج به‌دست آمده از محصول PERSIANN-CCS بسیار مشابه با نتایج به‌دست آمده از محصول PDIR-Now است. تنها وجه تمایز این دو محصول در تخمین مقادیر بارش به وقوع پیوسته است، که محصول PDIR-Now عملکرد بهتری نسبت به محصول PERSIANN-CCS دارد، اما همچنان مناسب نیست.

در پژوهش گرجی و همکاران (۱۳۹۸) مقادیر به‌دست آمده RMSE، POD و FAR برای محصول CCS به‌طور میانگین برای محدوده مورد مطالعه ایشان، کمتر از مقادیر به‌دست آمده در پژوهش حاضر بود، دلیل این موضوع عملکرد متفاوت محصولات بارشی در هر منطقه می‌باشد. مقادیر به‌دست آمده ضریب تعیین برای این واقعه در مقایسه با پژوهش زنگنه نیز (۱۳۹۷) کمتر است. این اختلاف به‌دلیل تفاوت محصولات مورد استفاده، چندان دور از انتظار نیست. در محصولات TRMM علاوه بر استفاده از داده‌های دمای درخشندگی سطح ابر، از داده‌های راداری و ماکروویو نیز بهره می‌برند. به این ترتیب علاوه بر تشخیص ویژگی‌های سطح فوقانی ابر، وضعیت رطوبتی داخل ابر نیز مشخص شود و تخمین بارش با دقت بهتری انجام می‌شود؛ اما حتی با وجود این برتری باز هم نتایج به‌دست آمده از پژوهش زنگنه و همکاران (۱۳۹۷) در مورد محصول بارشی TRMM و گرجی و همکاران (۱۳۹۷) درباره محصول CCS بیان‌گر عملکرد ضعیف هر دو محصول در مقیاس روزانه است.

۳-۲- واقعه دوم

شاخص PC در مورد محصول PDIR-Now برای هر دو روز بسیار بالا، و مقادیر BIAS برای این واقعه نسبت به واقعه اول بسیار کمتر است. مقدار بالای شاخص FAR بیان‌گر ضعف بالای این شاخص برای تخمین ایستگاه‌های بدون بارش در این واقعه است. میزان پایین شاخص POD نیز نشانگر ضعف محصول در تشخیص وقایع بارشی است. شاخص HSS نیز در این واقعه اندک است. شاخص‌های مقداری خطا اگرچه کم و امیدوار کننده هستند، اما به معنای عملکرد مناسب محصول نمی‌باشند؛ زیرا در هماهنگی با شاخص‌های دیگر نیستند. به‌علاوه محصول PDIR-Now در برآورد مقدار بارش روز اول واقعه دوم، دارای کم‌برآورد بوده و شاهد این موضوع مقدار منفی ME است.

عملکرد محصول CCS نسبت به PDIR-Now در این واقعه کمی بهتر است؛ به‌طوری که شاخص PC در حالتی ایده‌آل قرار گرفته و مقادیر شاخص FAR و BIAS نیز به مقدار زیادی کاهش پیدا کرده‌اند. البته در این محصول BIAS از یک کمتر بوده و به این معنی است که محصول PERSIANN-CCS در این واقعه تعداد ایستگاه‌های دارای بارش را کمتر از واقعیت تخمین زده است؛ به‌طوری که FAR برای روز دوم واقعه برابر با صفر شده است. مقادیر شاخص‌های مقداری نیز به‌صورت مشابه با محصول PDIR-Now بسیار کم است؛ اما محصول PERSIANN-CCS در واقعه دوم مقدار بارش را کمتر برآورد کرده است.

۳-۳- واقعه سوم

در واقعه سوم بین مقادیر شاخص‌ها در روز اول و دوم اختلاف زیادی وجود دارد،به صورتی که عملکرد محصول PDIR-Now در تشخیص وقوع بارش در روز اول، به‌مراتب بهتر از روز دوم است. شاخص BIAS نزدیک به یک، نشان‌دهنده تخمین نسبتاً صحیح وقایع بارشی در روز اول است؛ اما بر اساس شاخص HSS همچنان محصول PDIR-Now عملکرد خاصی را دارا نیست. در رابطه با شاخص‌های مقداری نیز اختلاف زیادی بین مقادیر تخمین زده شده و مقادیر مشاهداتی دیده می‌شود، که کمتر از واقعیت تخمین زده شده‌اند. این وضعیت درباره محصول PERSIANN-CCS نیز صادق بوده و مشابه با محصول PDIR-Now است.

۳-٤- واقعه چهارم

این واقعه شامل چهار روز بوده که عملکرد PDIR-Now در هر چهار روز متفاوت است. بهترین عملکرد برای تخمین وقوع بارش، در روزهای دوم و سوم صورت گرفته است. علت این عملکرد مناسب بالا بودن مقادیر PC و POD و پایین بودن BIAS و FAR است. شاخص HSS نیز در مقایسه با وقایع دیگر تفاوت زیادی ندارد. در رابطه با تخمین مقادیر بارش، روز اول دارای بیشترین ضریب تعیین و بیشترین اختلاف را با مقادیر اندازه‌گیری شده است. در روزهای دوم و سوم نیز محصول در تخمین مقادیر بارش دارای کم‌برآورد است.

در رابطه با محصول PERSIANN-CCS نیز شرایط به‌صورت مشابه با محصول PDIR-Now است. تفاوت محصول PERSIANN-CCS با محصول PDIR-Now در این واقعه، در تخمین مقادیر بارش است، که در محصول PERSIANN-CCS بر خلاف محصول دیگر بیش برآورد مقدار بارش مشاهده می‌شود.

در پژوهش السوماتی (۲۰۲۰) که با استفاده از محصول بارش ماهواره IMERG-V6 انجام گرفته نیز مقادیر POD بالا بوده که نشان می‌دهد، مدل مورد استفاده در تشخیص وقوع بارش موفق است، اما مقادیر بالای FAR نیز به این معنی است که در خیلی از ایستگاه‌ها وقوع بارش به اشتباه اعلام شده است. نکته حائز اهمیت در پژوهش ایشان پایین بودن مقادیر RMSE و MAE و ME است. علت این برتری را نیز می‌توان در لایه‌های مورد استفاده در مدل یافت. محصول IMERG-V6 از داده‌های GPM و داده‌های ماکروویو ATMS استفاده می‌کند، که همانند محصولات TRMM باعث افزایش دقت محصول می‌شود.

۳-۵- واقعه پنجم

بهترین عملکرد محصول PDIR-Now در واقعه پنجم برای تخمین وقوع بارش در روز سوم صورت گرفته است. مقادیر شاخص‌های تخمین وقوع بارش در این روز نسبت به سایر روزها بیشتر است. بهترین تخمین در برآورد مقدار بارش بر اساس شاخص ضریب تعیین در روز دوم اتفاق افتاده است، اما در این روز مقادیر RMSE به مقدار بسیار زیادی بالا است.

در محصـــول PERSIANN-CCS بهترین عملکرد در تخمین روزهای بارانی در روز دوم قابل ملاحظه اســت. با این‌حال همچنان پایین بودن شـــاخص HSS بیان‌گر عملکرد غیر خاص محصـــول اســت. به‌علاوه بهترین عملکرد محصول برای تخمین مقادیر بارش نیز در همین روز است؛ اما همچنان مقادیر خطا بسیار بالاست.

۳-٦- واقعه ششم

در این واقعه بهترین عملکرد محصول PDIR-Now در مورد شاخص‌های وقوع بارش در روز دوم صورت گرفته است؛ اما در رابطه با تخمین‌های مقداری، بهترین عملکرد در روز سـوم اتفاق افتاده که مقادیر ضـریب تعیین همچنان پایین است.

محصول PERSIANN-CCS بهترین عملکرد را در تخمین وقوع بارش برای روز سوم واقعه داشته است. بهترین عملکرد برای تخمین مقدار نیز بارش در روز دوم اتفاق افتاده است.

۳-۷- میانگین‌ها

مقدار میانگین شـاخص PC برای محصـول PDIR-Now برابر ۰/۷۲ اسـت. این مقدار بیان‌گر این اسـت که در ۷۲ درصد ایستگاه‌ها، وقوع یا عدم وقوع بارش توسط محصول به‌درستی پیش‌بینی شده است. این شاخص برای محصول PERSIANN-CCS برابر ۰/۷۳ اســت. شـاخص BIAS برای محصـول PDIR-Now برابر ١/٨٤ بوده و به این معنی است که در بیشتر ایستگاه‌ها وقوع بارش پیش‌بینی شده است، در حالی‌که ایستگاه‌ها بدون بارش بوده‌اند. این شاخص برای محصـول PERSIANN-CCS برابر ١/٤٩ اسـت که نشـان می‌دهد پیش‌بینی محصـول PDIR-Now نسـبت به محصول PERSIANN-CCS دارای بیش برآورد است. مقدار شاخص FAR برای محصول PDIR-Now برابر است با ۰/۵۱ که به معنی پیش‌بینی اشـــتباه وقوع بارش در ۵۱ درصـــد موارد اســـت. مقدار این شـــاخص در محصـــول PERSIANN-CCS برابر با ۰/٤٥ اســـت. شـــاخص POD در محصـــول PDIR-Now برابر ۰/۷۵ بوده که بیان‌گر پیش‌بینی صـحیح وقوع بارش در ۷۵ درصـد از موارد اسـت و محصـول PERSIANN-CCS تنها در ٦٨ درصـد از موارد، پیش‌بینی صحیح ارائه داده است.

شاخص HSS برای محصول PDIR-Now برابر ۰/١٦ است. با توجه به اینکه مقدار این شاخص به صفر نزدیک اســت؛ بنابراین محصــول عملکرد خوبی را در تخمین وقایع بارشـــی دارا نیســت. شــاخص HSS برای محصـــول PERSIANN-CCS برابر ۰/١٥ بوده و نتیجه مشابه با محصول قبلی را در میزان عملکرد دارد.

مقدار R^2 (ضریب تعیین) برای محصول PDIR-Now برابر با ۰/١٩ است، که بیان‌گر عملکرد ضعیف محصول در تخمین مقدار بارش رخ داده در مجموعه ایستگاه‌ها است. ضریب تعیین برای محصول PERSIANN-CCS برابر با ۰/١٦ بوده که همچنان مقدار اندکی است.

مقدار ME در محصول PDIR-Now برابر با ۱/۹٤ می‌باشد و به این معنی است که محصول دارای بیش‌برآورد می‌باشد. این شاخص برای محصول PERSIANN-CCS برابر با ٤/۳۹ بوده که نشان می‌دهد، میزان بیش‌برآورد PERSIANN-CCSبیشتر از محصول PDIR-Now است.

در محصول PDIR-Now شاخص‌های MAE و RMSE به ترتیب برابر ٥/٧٦ و ٩/٣٨ هستند. این دو شاخص نشان‌دهنده وجود خطای بالا در محصول PDIR-Now برای پیش‌بینی مقدار بارش در مجموعه ایستگاه‌ها هستند. مقادیر MAE و RMSE برای محصول PERSIANN-CCS نیز به ترتیب برابر ۷/۹۳ و ۱۲/۷۸ هستند، که نشان می‌دهد عملکرد محصول PDIR-Now لندکی بهتر است. نوین و همکاران[1] (۲۰۲۰) در مقیاس روزلنه و مقیاس وقایع حدی، مقادیر بهتری از شاخص‌های آماری را در مقایسه با این پژوهش بدست آوردند. ایشان در این پژوهش داده‌های خود را با داده‌های ماهواره‌ای و چندسنسوری IMERGF و NCEP 4 مورد مقایسه قرار دادند که همین موضوع باعث می‌شود عملکرد محصولات افزایش پیدا کند.

همان‌طور که مشاهده شد، در محصول PERSIANN-CCS نتایج میانگین بسیار به محصول PDIR-Now نزدیک است. تنها تفاوت موجود عملکرد نسبتاً بهتر محصول PDIR-Now در مقایسه با محصول PERSIANN-CCS است، که این موضوع با نتیجه حاصل از پژوهش نوین و همکاران[2] (۲۰۲۰) مطابقت دارد.

در ارزیابی صائمیان و همکاران (۲۰۲۱) با رویکرد نقطه به پیکسل، محصولات PERSIANN-CCS و PDIR-Nowبه ترتیب دارای همبستگی ۰/۱۷ و ۰/۲٦ بوده و BIAS نیزبه ترتیب برابر ۱/۵۸ و ۱/۰۳ می‌باشد، که این مقادیر با نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر همخوانی دارد. مقادیر HSS (نمره مهارت هیگ) در پژوهش ایشان اما به ترتیب برابر ۰/۳۵ و ۰/۵۳ است. علت مقادیر بالای نمره مهارت هیگ در پژوهش صائمیان (۲۰۲۱) را می‌توان در این دانست که ایشان به‌جای بررسی وقایع خاص، تمامی روزها را در دوره آماری موردمطالعه، بررسی کرده‌اند، همین موضوع باعث بهبود عملکرد محصولا به دلیل افزایش تعداد پیش‌بینی‌های موفق مدل شده است.

به‌طورکلی با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش عملکرد محصولات PERSIANN-CCS و PDIR-Now برای تخمین بارش‌های سنگین موردمطالعه در این پژوهش چندان مطلوب نبوده که با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های عزیزیان و امینی (۱۳۹۹) و زنگنه و همکاران (۱۳۹۷) مبنی بر عملکرد نامناسب محصول ماهواره‌ای PERSIANN-CCS مطابقت دارد.

1 Nguyen et al.
2 Nguyen et al.,

جدول ٤- مقادیر تمامی معیارهای آماری خطا و شاخص‌های مستخرج از جدول‌های توافقی برای تمامی وقایع بارشی محصول PDIR-Now

تاریخ	PC	BIAS	FAR	POD	HSS	R^2	ME	MAE	RMSE
۲۵ فروردین ۹٦	۰/٤۰	٤/۷۲	۰/۸۰	۰/۹۷	۰/۱۰	۰/۱٦	۹/٤۹	۹/۵۹	۱۵/٦۲
۲٦ فروردین ۹٦	۰/٤۵	۳/۰۷	۰/٦۸	۰/۹۹	۰/۱۵	۰/۰٤	۸/۹۳	۱۰/۰۹	۱۳/٤٤
۲۰ مرداد ۹٦	۰/۸۹	۱/۷۰	۰/۸۲	۰/۳۰	۰/۱۷	۰/۱۳	−۰/۱۷	۰/۵۱	۳/۰۲
۲۱ مرداد ۹٦	۰/۸۹	۲/۵۳	۰/۸٤	۰/٤۰	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۱٤	۰/۲٦	۱/۱۲
۲۷ اسفند ۹۷	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۰۲	۰/۹٦	۰/۵۰	۰/۰٦	−۵/۹۳	۸/۳۹	۱۵/۱۷
۲۸ اسفند ۹۷	۰/۵۱	۱/۲۰	۰/٦۸	۰/۳۸	−۰/۰٤	۰/۰۱	−۱/۰۰	۳/۹۹	۱۰/۱۷
۵ فروردین ۹۸	۰/۷۲	۱/۳۹	۰/۲۸	۰/۹۹	۰/۰۱	۰/٦٤	۱٤/۱۰	۱۵/۱۷	۲٤/۰۸
٦ فروردین ۹۸	۰/۸٦	۱/۱۱	۰/۱۲	۰/۹۸	۰/۰۳	۰/۳۱	−۲/۹٤	۱۲/٦۸	۱۷/٦۳
تاریخ	PC	BIAS	FAR	POD	HSS	R^2	ME	MAE	RMSE
۷ فروردین ۹۸	۰/۸٤	۱/۰٤	۰/۱۰	۰/۹۳	۰/۱۰	۰/۰۸	−۳/۳۳	٦/۸۸	۹/٤٤
۸ فروردین ۹۸	۰/۵۱	۱/۵٤	۰/٦٦	۰/۵۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۲/۰٤	۳/٤۱	٦/۲۵
۱۱ فروردین ۹۸	۰/٦۸	۱/٤۱	۰/۳۲	۰/۹٦	۰/۱۵	۰/۲۹	۵/۹۹	۷/۱٤	۱۱/۰۱
۱۲ فروردین ۹۸	۰/۷۷	۱/۲۸	۰/۲۳	۰/۹۹	۰/۰۵	۰/٤۰	۱/۵۲	۱۱/۵۹	۱۷/۹٤
۱۳ فروردین ۹۸	۰/۷۳	۱/۳۵	۰/۲۷	۰/۹۸	۰/۱٤	۰/۰٦	۱/۸۹	۷/۸۰	۱۰/۱۳
۱٤ فروردین ۹۸	۰/٤۵	۳/۵۵	۰/۷٤	۰/۹٤	۰/۱۳	۰/۰۱	۳/۳۹	۳/۷۰	٦/۰۲
۸ خرداد ۹۸	۰/۷٦	۱/٤۸	۰/۷۲	۰/٦۸	۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۵۷	۰/۸۲	۲/۳۲
۹ خرداد ۹۸	۰/۸۵	۱/۳۳	۰/٤٦	۰/۷۲	۰/۵۳	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/٦۲	۱/۹۱
۱۰ خرداد ۹۸	۰/۸۷	۱/٤۵	۰/۵۱	۰/۷۰	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۳۲	۰/۹۷
۱۱ خرداد ۹۸	۰/۷٦	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۱۳	−۰/۰۱	۰/۰۰	−۰/۲۰	۰/٦٤	۲/۷۰
میانگین	۰/۷۲	۱/۸٤	۰/۵۱	۰/۷۵	۰/۱٦	۰/۱۹	۱/۹٤	۵/۷٦	۹/۳۸

جدول ۵- مقادیر تمامی معیارهای آماری خطا و شاخص‌های مقادیری و مستخرج از جدول‌های توافقی برای تمامی وقایع بارشی محصول PERSIANN-CCS

تاریخ	PC	BIAS	FAR	POD	HSS	R^2	ME	MAE	RMSE
۲۵ فروردین ۹٦	۰/٤٤	٤/٤۸	۰/۷۸	۰/۹۷	۰/۱۳	۰/۱۰	۱۳/۱۲	۱۳/۱۳	۲۳/۵٦
۲٦ فروردین ۹٦	۰/٤٤	۳/۰۳	۰/٦۹	۰/۹۵	۰/۱۲	۰/۰۱	۱٦/۱۰	۱۷/٦۵	۲۷/۲۸
۲۰ مرداد ۹٦	۰/۹۵	۰/۱۰	۰/۵۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۵۷	−۰/۳۷	۰/۳۷	۳/۱۳
۲۱ مرداد ۹٦	۰/۹۷	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۰۲	−۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۷۹
۲۷ اسفند ۹۷	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۰۲	۰/۸۹	۰/۲۹	۰/۰۱	−٦/۳۹	۹/۸۱	۱٦/۰۵
۲۸ اسفند ۹۷	۰/٦۰	٤/۲۰	۰/۷۳	۰/۱۱	−۰/۰۵	۰/۰۱	−۱/٦۱	۳/٦۰	۱۰/٦۸
۵ فروردین ۹۸	۰/۷۲	۱/۳۸	۰/۲۸	۱/۰۰	۰/۰۱	۰/۵۵	۳۹/۲۹	۳۰/۲٤	۳۹/۳۱

RMSE	MAE	ME	R^2	HSS	POD	FAR	BIAS	PC	تاریخ
۲۱/٦۳	۱٦/۲٤	۳/۹۸	۰/۲۵	−۰/۰۱	۱/۰۰	۰/۱۲	۱/۱۳	۰/۸۸	٦ فروردین ۹۸
۱۱/٦۸	۸/٤۱	−۲/۲۲	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۸۵	۰/۱۰	۰/۹٤	۰/۷۸	۷ فروردین ۹۸
۵/۸۹	۲/٦۸	۱/۲۹	۰/۰۲	۰/۰٤	۰/۳۵	۰/٦۵	۱/۰۰	۰/۵۸	۸ فروردین ۹۸
۱۱/۰۱	۷/۱٤	۵/۹۹	۰/۳۰	۰/۱۷	۰/۹٤	۰/۳۲	۱/۳۷	۰/٦۸	۱۱ فروردین ۹۸
۱۹/٤۷	۱۳/۲۷	۷/۵۰	۰/٤۵	۰/۰۹	۱/۰۰	۰/۲۲	۱/۲۸	۰/۷۸	۱۲ فروردین ۹۸
۱۳/٤۷	۹/۹۵	٤/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۹۵	۰/۲۹	۱/۳۳	۰/٦۹	۱۳ فروردین ۹۸
۹/۳۸	٤/۸۲	٤/٤۸	۰/۰۱	۰/۱٤	۰/۸۱	۰/۷۳	۲/۹٦	۰/۵۱	۱٤ فروردین ۹۸
٦/٦٦	۲/۲۵	۲/۰۷	۰/۰٤	۰/۲۷	۰/۷۰	۰/۷۳	۲/۵۷	۰/۷۵	۸ خرداد ۹۸
٤/۰۷	۱/٤٤	۱/۲۳	۰/۲۳	۰/٤۷	۰/۷۳	۰/۵۲	۱/۵۳	۰/۸۲	۹ خرداد ۹۸
۲/٦۱	۰/٦۹	۰/۵۳	۰/۱۹	۰/۵۱	۰/٦۸	۰/٤۹	۱/۳٤	۰/۸۸	۱۰ خرداد ۹۸
۳/۱۳	۰/۸۸	۰/۰۲	۰/۰۰	−۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۷٦	۱۱ خرداد ۹۸
۱۲/۷۸	۷/۹۳	٤/۳۹	۰/۱٦	۰/۱۵	۰/٦۸	۰/٤۵	۱/٤۹	۰/۷۳	میانگین

٤- جمع‌بندی

اگرچه محصولات تخمین بارش ابزارهای بسیار مناسبی برای پیش‌بینی بارندگی و هشدار سیل هستند، اما قبل از استفاده از این محصولات لازم است ابتدا عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور، عملکرد دو محصول PDIR-Now و PERSIANN-CCS برای خسارت‌بارترین وقایع سیل سال‌های ۱۳۹٦ الی ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفت.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، محصولات PDIR-Now و PERSIANN-CCS عملکرد متفاوتی در روزهای موردبررسی از خود نشان دادند. این عملکرد از حالت‌های مطلوب تا حالت‌های فوق‌العاده ضعیف تغییر می‌کرد. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی محصولات تخمین بارش PDIR-Now و PERSIANN-CCS نشان‌دهنده این است که عملکرد محصولات با توجه به میانگین شاخص‌های به‌دست‌آمده از جدول‌های توافقی ۲×۲ برای وقوع و یا عدم وقوع بارش در منطقه بدون در نظر گرفتن شاخص نمره مهارت بسیار بالا است، اما با دقت در شاخص نمره مهارت مشخص می‌شود که این عملکرد فقط به‌صورت ظاهری مناسب است. در حقیقت مقدار نمره مهارت نزدیک به صفر بیان‌گر این است که محصولات عملکرد بسیار خوبی ندارند. در واقع به دلیل اینکه همواره بخشی از کشور بدون پوشش ابر است، عملکرد این شاخص‌ها در تخمین وقوع بارش به‌صورت غیرواقعی بهبود پیدا می‌کند. به‌علاوه، ملاحظه می‌شود که در تعدادی از وقایع موردبررسی، محصولات تخمین بارش، عملکرد بسیار ضعیفی را برای پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بارش از خود نشان داده‌اند.

مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص‌های آماری R^2، ME، MAE و RMSE نیز بیان‌گر عملکرد ضعیف این محصولات در تخمین مقادیر واقعی بارش اســـت. در واقع با یک رویکرد کلی در مورد کشـــور ایران، این محصـــولات توانایی تخمین نزدیک به واقعیت را برای همه ایستگاه‌های زمینی کشور ندارند. بااین‌حال عملکرد محصول PDIR-Now از محصول PERSIANN-CCS نسبتاً بهتر است؛ زیرا در این محصول از تأثیرات اقلیم بر بارش استفاده شده است. در واقع محصول PDIR-Now نسخه بهبود یافته PERSIANN-CCS با توجه به اقلیم مناطق مختلف است.

با توجه به نتایج به دست آمده و عملکرد ضعیف محصولات موردبررسی، پیشنهاد می‌شود عملکرد محصولات فوق در دوره‌های آماری طولانی‌تر مورد ارزیابی قرار گیرند، به‌علاوه عملکرد هر دو محصـــول برای ســـیســـتم‌های مختلف بارشی نیز بررسی شود.

کتابنامه

اکبری، جواد؛ کاظم‌زاده، مجید؛ ۱۳۹۸. ارزیابی دقت توزیع مکانی بارش ماهواره TRMM 3B43 در اقالیم مختلف کشور ایران. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۳(٤٤)، ۷۳.
https://www.magiran.com/paper/1947294

جوان، خدیجه؛ ۱۳۹۲. *ارزیابی تطبیقی داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی در برآورد مقدار بارندگی در حوضـه آبریز دریاچه ارومیه*. پایان‌نامه دکتری دانشگاه تبریز. دانشکده جغرافیا. گروه آب و هواشناسی. اساتید راهنما دکتر بهروز ساری صراف، دکتر علی‌اکبر رسولی. استاد مشاور: دکتر مهدی عرفانیان.

چاوشـــیان، علی؛ کتیرایی، پری ســـیما؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و کاربرد انواع مجموعه داده‌های دیدبانی (زمینی و ماهواره‌ای) بارش بر روی ایران. *نشریه آب‌وخاک*، ۳۳(۳)، صص ۵۲۰-۵۰۱.
https://www.magiran.com/paper/2041188

خبرگزاری جمهوری اسلامی؛ ۱۳۹۸. *هشدارهای هواشناسی قابلیت پیش‌بینی سیل را ندارند [اخبار]*. بازیابی شده در ۲۵ اسفند ۱۳۹۹، از https://www.irna.ir/news/83327702

رحمتی، اکبر؛ مساح بوانی، علیرضا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی پایگاه داده‌های جهانی بارش برای استفاده در مدل‌های فیزیکی، مطالعه موردی: حوزه آبریز کارون. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*. ۱۵(۱)، صص ۱۹۲-۱۷۸.
https://www.magiran.com/paper/1978598

زنگنه اینالو، محمدرضا؛ قهرمان، بیزن؛ فرید حسینی، علیرضا؛ ۱۳۹۷) مقایسه مقادیر مشاهداتی و اطلاعات بارش ماهواره‌ای PERSIAN و CMORPH – روش‌های درون‌یابی در مقایس ساعتی و روزانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز شاپور. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*. ۱٤(٤)، صص ۱-۱۲.
https://www.magiran.com/paper/1936725

سبحانی، بهروز؛ عالی جهان، مهدی؛ زینالی، بتول؛ ۱۳۹۵. واکاوی همدید – ماهواره‌ای موج بارشی سنگین استان چهارمحال‌وبختیاری. *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۵(۲۰)، صص ۱۳٤-۱۰۹.
https://www.magiran.com/paper/1706341

شریفی، احسان؛ ثقفیان، بهرام؛ هلد اشتایناکر، راین؛ ۱۳۹۵. بررسی کارایی جدیدترین نسل محصولات بارش ماهوارهای با وضوح زمانی-مکانی بالا. *ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران.*
https://civilica.com/doc/559219/

شکری کوچک، سعید؛ آخوندعلی، علی‌محمد؛ شریفی، محمدرضا؛ ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN و PERSIANN-CDR و بررسی تأثیر ناهمواری‌ها بر آن (مطالعه موردی: حوضه آبریز حله. *مجله اکو هیدرولوژی.* ۷(۲)، صص ۵۲۷-۵۱۱.
https://www.magiran.com/paper/2144274

عزیزیان، اصغر؛ امینی، ستاره؛ ۱۳۹۹. تأثیر شرایط اقلیمی و توپوگرافیکی سطح زمین بر عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN در سطح ایران. *مجله تحقیقات منابع آب ایران.* ۱٦(۱)، صص ۱۰۱-۸٦.
https://www.magiran.com/paper/2146596

قهرمان، بیژن؛ زنگنه ایناللو، محمدرضا؛ فریدحسینی، علیرضا؛ ۱۳۹۷. بررسی تطابق داده‌های بارش ماهواره‌ای TRMM اصلاح شده، با داده‌های بارش زمینی ایستگاه‌های هواشناسی حوضه‌ی آبخیز رود شاپور استان فارس. *فصلنامه پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی).* ۱۲۱، صص ۵۷-٤۳.
https://www.magiran.com/paper/1963200

گرجی زاده، علی؛ آخوندعلی، علی محمد؛ شهبازی، علی؛ مریدی، علی؛ ۱۳۹۸. مقایسه دو مجموعه داده بارش شبکه‌بندی شده با وضوح بالا در بالادست سد مارون در ایران. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران.* ۵۰(۳)، صص ۵۲۷-٥٤۱. https://www.magiran.com/paper/2007634

Alsumaiti, T. S., Hussein, K., Ghebreyesus, D. T., & Sharif, H. O., 2020. Performance of the CMORPH and GPM IMERG products over the United Arab Emirates. In *Remote Sensing* (Vol. 12, Issue 9). https://doi.org/10.3390/RS12091426

Barrett, E. C., 1970. The estimation of monthly rainfall from satellite data. *Monthly weather review*, 98(4), 322-327. https://doi.org/10.1175/1520-0493(1970)098<0322:TEOMRF>2.3.CO;2

Hogan, R. J., & Mason, I. B., 2012. Deterministic Forecasts of Binary Events. In *Forecast Verification* (pp. 31–59). https://doi.org/10.1002/9781119960003.ch3

Katiraie-Boroujerdy, P. S., Nasrollahi, N., Hsu, K. L., & Sorooshian, S., 2013. Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of arid environments*, *97*, 205-219. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.05.013

Kidd, C., 2001. Satellite rainfall climatology: A review. *International Journal of Climatology*, *21*(9), 1041–1066. https://doi.org/10.1002/joc.635

Laboratory, N. N. S. S., 2020. *SEVERE WEATHER 101 Flood Basics*. Retrieved March 8, 2021, from https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/floods/

Masood, M., Shakir, A. S., Azhar, A. H., Nabi, G., & Habib-u-Rehman., 2020. Assessment of Real Time, Multi-Satellite Precipitation Products under Diverse Climatic and Topographic Conditions. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, *56*(4), 577–591. https://doi.org/10.1007/s13143-019-00166-1

Nguyen, P., Ombadi, M., Gorooh, V. A., Shearer, E. J., Sadeghi, M., Sorooshian, S., ... & Ralph, M. F., 2020. PERSIANN Dynamic Infrared–Rain Rate (PDIR-Now): A Near-Real-Time,

Quasi-Global Satellite Precipitation Dataset. Journal of hydrometeorology, 21(12), 2893-2906. https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0177.1

Saemian, P., Hosseini-Moghari, S. M., Fatehi, I., Shoarinezhad, V., Modiri, E., Tourian, M. J., ... & Sneeuw, N., 2021. Comprehensive evaluation of precipitation datasets over Iran. Journal of Hydrology, 603, 127054. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127054

Ur Rahman, K., Shang, S., Shahid, M., & Wen, Y., 2020. An Appraisal of Dynamic Bayesian Model Averaging-based Merged Multi-Satellite Precipitation Datasets Over Complex Topography and the Diverse Climate of Pakistan. In *Remote Sensing* (Vol. 12, Issue 1). https://doi.org/10.3390/rs12010010

Van Hoang, T., Chou, T. Y., Nguyen, N. T., Fang, Y. M., Yeh, M. L., Nguyen, Q. H., & Nguyen, X. L., 2019. A robust early warning system for preventing flash floods in mountainous area in Vietnam. In *ISPRS International Journal of Geo-Information* (Vol. 8, Issue 5). https://doi.org/10.3390/ijgi8050228